

## تحلیل نتایج حاصل از اندازه گیری فلزات سنگین (سرب، کادمیوم) هوا در محوطه سازمان انرژی اتمی

فرامرز معطر<sup>۱</sup>

کریم حسین میخچی<sup>۲</sup>

احمد محمد زاده<sup>۲</sup>

عبدالرضا کرباسی<sup>۳</sup>

اعظم سادات دلبری<sup>۴\*</sup>

[Delbari.azamsadat@gmail.com](mailto:Delbari.azamsadat@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۸۷/۷/۳۰

تاریخ دریافت: ۸۷/۴/۸

### چکیده

با توجه به اهمیت اندازه گیری فلزات سنگین در هوا در چارچوب این مقاله میزان غلظت فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) هوا اندازه گیری و تحلیل گردیده است. نمونه برداری هوا توسط دستگاه نمونه برداری با حجم بالا (High Volume Sampler) در فصول مختلف سال انجام پذیرفت و پس از آماده سازی نمونه ها، میزان غلظت فلزات سنگین به روش جذب اتمی تعیین گردید.

نتایج حاصل به وسیله نرم افزار آماری Spss مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، میانگین غلظت سرب و کادمیوم در نیمه دوم سال به ترتیب  $0.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و  $0.04$  بوده که در مقایسه با مقادیر استاندارد سرب و کادمیوم ( $1.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ،  $0.15$ ) غلظت این فلزات از حد استاندارد کم تر می باشد. نتایج موید این نکته است که میزان فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) وابسته به شرایط محیطی به ویژه تلاطم هوا و میزان بارندگی بوده به طوری که در هنگام بارندگی میزان آلودگی به شدت کاهش یافته و در هنگام وارونگی هوا به علت تجمع آلاینده ها و عدم پخش آن ها آلودگی افزایش یافته است. نکته قابل توجه این است که میزان غلظت فلزات سنگین حتی در شرایط وارونگی از میزان استاندارد تعیین شده توسط مراجع بین المللی کم تر بوده است.

**واژه های کلیدی:** آلودگی هوا، راکتور تحقیقاتی، جذب اتمی، سرب، کادمیوم.

- ۱- دکترای مهندسی هسته ای استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
  - ۲- دکترای مهندسی هسته ای استادیار پژوهشکده علوم و فنون هسته ای
  - ۳- دانشیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
  - ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، آلودگی هوا دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده محیط زیست و انرژی واحد علوم و تحقیقات تهران
- \* (مسئول مکاتبات).

## مقدمه

در قرن اخیر کره زمین و در واقع ساکنان آن با مشکلات فراوانی مواجه بوده اند. افزایش جمعیت انسانی و به دنبال افزایش نیازها از یک طرف و پیشرفت علوم و فنون و ارتقای سطح زندگی و رفاه اجتماعی از طرف دیگر همه و همه انسان را به تفکر بیشتر در حفظ محیط زیست سوق می دهد (۵).

یکی از منابعی که انسان هر لحظه از آن استفاده می کند ولی لمس نمی شود، هوا است که مهم ترین عامل حیات موجود زنده، تنفس و داشتن اکسیژن می باشد. انسان در شبانه روز حدود ۲۲۰۰۰ بار تنفس می کند و حدود ۲۵ کیلوگرم هوا به داخل ریه فرستاده می شود. اگر چه در حالت عادی تنها به اثرات سوء آلودگی هوا وارد بر انسان توجه می شود، اما آلودگی هوا تنها به این اثرات محدود نمی گردد (۳). مواد نامطلوب می تواند بر انسان، حیوان، گیاه و مواد یا محیط زیست جهانی تاثیر گذاشته و اثرات سوئی به جا گذارد. بسیاری از این مواد مضر از طریق منابعی که در حال حاضر در کنترل انسان نمی باشد، وارد اتمسفر می شوند (۲). در عین حال در اکثر مناطق با تراکم جمعیت زیاد، خصوصاً کشورهای صنعتی منشاء اصلی آلاینده ها فعالیت انسانی می باشد. این فعالیت ها رابطه نزدیکی با الگوهای مناسب زندگی داشته و محدود کردن آن ها معمولاً تا حدی موجب تنزل کیفیت زندگی می شود (۵). فلزات سنگین از آلاینده های خطرناک هوا است که اثرات فیزیولوژیک زیادی بر انسان داشته و به علت تجمع پذیری در بافت های مختلف بدن انسان باعث اختلال در سیستم های کلیوی، گوارشی، قلبی-عروقی و ... می گردد. مطالعات متعددی در زمینه سنجش فلزات سنگین در محیط زیست تاکنون انجام پذیرفته است (۷-۴ و ۹-۱۴).

کادمیوم یکی از فلزات سنگین می باشد که از نظر بیولوژیکی، عنصری غیر ضروری است و با غلظت های کم در پوسته زمین وجود دارد. مهم ترین مصرف کادمیوم ترکیبات آن عبارتند از: لحیم کاری و تولید قطعات الکتریکی، تولید لاستیک، تولید آفت کش ها، به عنوان کاتالیست در واکنش

های پلیمریزاسیون، ورقه های سرامیکی، مواد شیمیایی عکاسی و لیتوگرافی، همچنین کادمیوم به دلیل توانایی زیاد در جذب نوترون در راکتورهای هسته ای استفاده می شود. از نظر اثر سرطان زا، برخی شواهد وجود دارد که کادمیوم از طریق استنشاقی سرطان زا است. EPA، کادمیوم را در دسته مواد احتمالاً سرطان زا برای انسان طبقه بندی نموده است. IARC نیز Cd را در گروه ۲A طبقه بندی می کند (احتمالاً سرطان زا برای انسان) اما هیچ شواهدی از سرطان زا، از طریق خوراکی وجود ندارد و هیچ مدرک روشنی از ژنوتوکسیک بودن کادمیوم ارایه نشده است (۱).

کاربردهای متعدد سرب در بنزین، سیستم های تامین آب و بسیاری از صنایع سبب شده است که این فلز در تمام محیط زیست وجود داشته باشد. سرب در آب باران، برف، خاک، گرد و غبار، فاضلاب های شهری و صنعتی و منابع آب یافت می شود. سرب به ندرت به شکل عنصری در محیط وجود دارد. مهم ترین عامل انتقال سرب هوا است. ذرات با قطر کم تر از یک میکرو متر که در هوا منتشر شده اند در اثر عوامل جوی و حرارت ممکن است فواصل زیادی را قبل از نشست طی کنند این حرکت به صورت خشک و یا تر ایجاد می شود، به استثنای آتشفشان ها و آتش سوزی جنگل ها که از منابع طبیعی آلودگی هستند و منجر به انتشار ذرات زیادی می شوند که در فواصل بسیار دور نشست می کنند (۴).

غلظت سرب در هوا به عوامل متعددی از جمله مجاورت با جاده ها بستگی دارد. میزان غلظت سرب در هوای شهری و روستایی استرالیا (به صورت ذرات) به ترتیب در محدوده  $0.1-1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و  $2.5-0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  تعیین شده است. میزان سرب اتمسفر در خشکی  $0.1-1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  گزارش شده است که این مقدار در اتمسفر اقیانوس ها کم تر می باشد. به طور کلی غلظت سرب اتمسفری در آمریکای شمالی و اروپا در محدوده  $0.18-0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ذکر گردیده است. برخی گزارش ها نیز غلظت سرب را در هوای شهرهای

کاغذ صافی عبور می دهیم. بشر اولی را مجدداً، با ۱۰ CC آب مقطر شستشو داده و جوشانیده، مجدداً از کاغذ صافی عبور داده و حجم نهایی را به ۲CC می رسانیم. نمونه را در بشر مخصوص ریخته و جهت اندازه گیری در دستگاه قرار می دهیم.

روش دوم: این روش برای فیلترهای سلولزی توصیه شده و به طور تجربی فیلتر را با ۲۰CC اسید نیتریک ۶۵٪ در بشر ۱۰۰CC پیرکس حرارت می دهیم تا حجم محلول به نزدیک نصف برسد. سپس به محلول ۱۰CC اسید نیتریک و ۵CC اسید پرکلریدریک اضافه و مجدداً نمونه را حرارت می دهیم تا جایی که نصف اسید تبخیر شود. سپس آن را از کاغذ واتمن عبور می دهیم و با آب مقطر دوبار تقطیر شده آن را در بالن ژوژه به ۱۰۰CC می رسانیم.

این دو روش آزمایش در نمونه ها انجام پذیرفتن و هدف انتخاب نمودن روش مناسب تر بود نتیجه اندازه گیری نشان داد که میزان عناصر در هر نمونه در هر دو روش تقریباً یکی است و اختلاف آن بسیار جزئی (۰/۰۰) بود. به این جهت روش دوم به دلیل عدم نیاز به HF و عدم نیاز به هود بسیار قوی و حمام سود انتخاب شد. غلظت استانداردهای عناصر مورد نظر در حدود غلظت عناصر در نمونه هوا انتخاب شد و همراه با نمونه ها فیلتر سفید به عنوان شاهد نیز انتخاب شد. تا اگر خود فیلتر در موقع استخراج فلز موادی وارد کرد اثر آن را در اندازه گیری حذف کرده باشیم. برای هر ۴-۵ نمونه یک شاهد همزمان آماده سازی کردیم.

#### محاسبه غلظت فلزات سنگین (سرب و کادمیوم)

مشخصات هر نمونه بعد از نمونه برداری در فرم های محاسباتی نوشته شده و حجم هوای عبوری در آن محاسبه شده است. اگر  $a$  میکروگرم عنصر مورد اندازه گیری در یک میلی لیتر از محلول نمونه باشد  $۱۰a$  میکروگرم عنصر در کل محلول می باشد. بنابر این مقدار عنصر در متر مکعب هوا بر حسب میکروگرم:

$$\mu gr = \frac{a \times 10}{v}$$

بزرگ و پرتراپیک  $\frac{\mu g}{m^3}$  ۲-۴ و در نقاط حومه شهرها  $\frac{\mu g}{m^3}$  ۰/۲ ذکر می نمایند (۱۵).

در این تحقیق با نگاهی عمیق تر به مسئله آلودگی محیطی و در نظر گرفتن عواملی که احتمال دارد در محاسبات دخالت داشته باشد، به بررسی میزان فلزات سنگین (سرب و کادمیم) پرداخته شده است. همچنین تلاش شده است با دخالت تمام عوامل زیست محیطی تا حد امکان اعداد به دست آمده واقعی تر باشد.

#### نمونه برداری

راکتور تحقیقاتی سازمان انرژی اتمی ایران به طور دائم و مستمر فعالیت نمی کند، بلکه بنا به ضرورت تشخیص داده شده توسط اپراتور و تعداد نمونه های موجود فقط چند روز در ماه کار می کند. بنابراین برنامه نمونه برداری همزمان با کارگردانی راکتور انجام گرفت.

به دلیل محدودیت های موجود در انجام تحقیق، شرایط جوی متغیر و نامناسب هوا، پایداری هوا و ... ایستگاه نمونه برداری پشت بام ساختمان راکتور تحقیقاتی سازمان انرژی اتمی تعیین گردید و نمونه برداری در فصول پاییز و زمستان انجام پذیرفت. نمونه برداری با استفاده از پمپ High Vloum Sampler با فلوی ۱۰۰-۳۰ لیتر در دقیقه انجام یافت، نمونه ها بر روی فیلترهایی به قطر ۴۷mm و از نوع فایبر گلاس جمع آوری گردید.

#### روش آماده سازی نمونه

در ابتدا دو روش را جهت حل شیمیایی نمونه ها انتخاب کردیم.

روش اول: در این روش ابتدا فیلترهای نمونه را در یک بشر پلی اتیلنی با ۲CC اسید فلوریدریک در بن ماری تا نقطه خشک حرارت می دهیم و سپس ۲CC اسید نیتریک به آن اضافه کرده و حرارت می دهیم تا تنها چند قطره از اسید باقی بماند. سپس ۱۰ml آب مقطر اضافه کرده و آن را به نقطه جوش رسانده و از

## یافته ها و بحث

کادمیوم در طول ۰/۴۱ و ۰/۰۴ میکروگرم در مترمکعب هوا بود (جدول ۱ و ۲).

نتایج به دست آمده نشان می دهد که غلظت فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) در روزهای مختلف هفته متفاوت بوده و در برخی روزها به حداقل می رسد. غلظت سرب و

جدول ۱- میانگین آلودگی سرب در ماه های مختلف مورد اندازه گیری  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  سال ۱۳۸۵

ردیف	ماه	n	X	S.D	حدبالا	حدپایین
۱	مهر	۷	۰/۲۷۳	۰/۱	۰/۳۵	۰/۲۰
۲	آبان	۷	۰/۲۹۶	۰/۰۹	۰/۳۵	۰/۲۳
۳	آذر	۷	۰/۳۲۸	۰/۰۸	۰/۳۸	۰/۲۷
۴	دی	۸	۰/۴۵۲	۰/۳۵	۰/۷	۰/۲
۵	بهمن	۶	۰/۵۲۰	۰/۰۷	۰/۶۶	۰/۳۹
۶	اسفند	۷	۰/۶۱۲	۰/۰۸	۰/۷۷	۰/۴۵

جدول ۲- میانگین آلودگی کادمیوم در ماه های مختلف مورد اندازه گیری  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  سال ۱۳۸۵

ردیف	ماه	n	X	S.D	حدبالا	حدپایین
۱	مهر	۷	۰/۰۲۷	۰/۰۳۵	۰/۰۹	۰/۰۴
۲	آبان	۷	۰/۰۲۴	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۳
۳	آذر	۷	۰/۰۲۵	۰/۰۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲
۴	دی	۸	۰/۰۳۱	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۰۷
۵	بهمن	۶	۰/۰۵۷	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۴
۶	اسفند	۷	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۰۱

فصول دیگر سال است. افزایش شدید غلظت فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) در طول مدتی که شهر با آلودگی شدید هوا همراه بود هماهنگ بوده و روند تغییرات آن با سایر آلاینده های اتمسفر نیز هماهنگ می باشد.

با توجه به این که میزان فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) وابسته به شرایط محیطی به ویژه تلاطم هوا و میزان بارندگی بوده به طوری که در هنگام بارندگی میزان آلودگی به شدت کاهش یافته و در هنگام وارونگی هوا به علت تجمع

نتایج حاصل از این بررسی مشخص نموده که میزان فلزات سنگین وابسته به شرایط محیطی به ویژه تلاطم هوا و میزان بارندگی بوده به طوری که در هنگام بارندگی میزان آلودگی به شدت کاهش یافته و در هنگام وارونگی هوا به علت تجمع آلاینده ها و عدم پخش آن ها آلودگی افزایش یافته است. مطالعه انجام یافته روند تغییرات فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) را در طول فصول مختلف سال متفاوت نشان داد، به طوری که غلظت فلزات در فصول سرد بیش از مقدار آن در

هوای در اسفند ماه به ترتیب با غلظتی برابر ۰/۶۱ و ۰/۰۶ میکروگرم بر متر مکعب هوا مشاهده گردید.

آلاینده‌ها و عدم پخش آن‌ها آلودگی افزایش یافته است، در جدول ۳ و ۴ وضعیت جوی در مدت نمونه برداری نشان داده شده است. بیشترین غلظت سرب و کادمیوم در پایداری شدید

جدول ۳- شرایط نمونه برداری از نمونه‌های هوا پاییز ۱۳۸۵

ردیف	تاریخ	فلوی متوسط Lit	زمان h	میانگین دما (c)	میزان بارش (mm)	فشار هوا mbar
۱	۷/۸	۷۷/۵	۶	۲۳/۵	۰	۱۰۱۲
۲	۷/۹	۷۷/۵	۶	۲۴	۰	۱۰۱۰
۳	۷/۱۰	۷۷/۵	۶	۲۶/۵	۱/۲	۱۰۰۴
۴	۷/۱۱	۷۷/۵	۶	۲۵/۵	۰	۱۰۱۰
۵	۷/۱۲	۷۷/۵	۶	۲۷	۰	۱۰۰۲
۶	۷/۱۳	۷۷/۵	۵	۲۲/۵	۰	۱۰۰۰
۷	۷/۱۴	۷۷/۵	۲۴	۲۳	۰	۱۰۰۴
۸	۸/۶	۷۷/۵	۶	۲۲	۰	۱۰۱۶
۹	۸/۷	۷۷/۵	۶	۲۳	۰	۱۰۰۵
۱۰	۸/۸	۷۷/۵	۶	۲۴/۵	۰	۱۰۱۵
۱۱	۸/۹	۷۷/۵	۶	۲۲/۵	۰/۵	۱۰۱۸
۱۲	۸/۹	۷۷/۵	۶	۱۸/۵	۰	۱۰۱۷
۱۳	۸/۱۰	۷۷/۵	۶	۲۱/۵	۱	۱۰۱۰
۱۴	۸/۱۱	۷۷/۵	۶	۲۲/۵	۰/۵	۱۰۰۲
۱۵	۹/۳	۷۷/۵	۶	۱۸	۰	۱۰۱۵
۱۶	۹/۴	۷۷/۵	۲۴	۲۱	۱	۱۰۰۲
۱۷	۹/۵	۷۷/۵	۲۴	۱۹/۵	۰/۵	۱۰۰۰
۱۸	۹/۶	۷۷/۵	۲۴	۲۱	۰/۹	۱۰۰۰
۱۹	۹/۷	۷۷/۵	۲۴	۲۰	۰/۴	۱۰۰۵
۲۰	۹/۸	۷۷/۵	۲۴	۱۹	۹/۵	۱۰۰۹
۲۱	۹/۹	۷۷/۵	۲۴	۱۸	۰/۹	۱۰۲۰

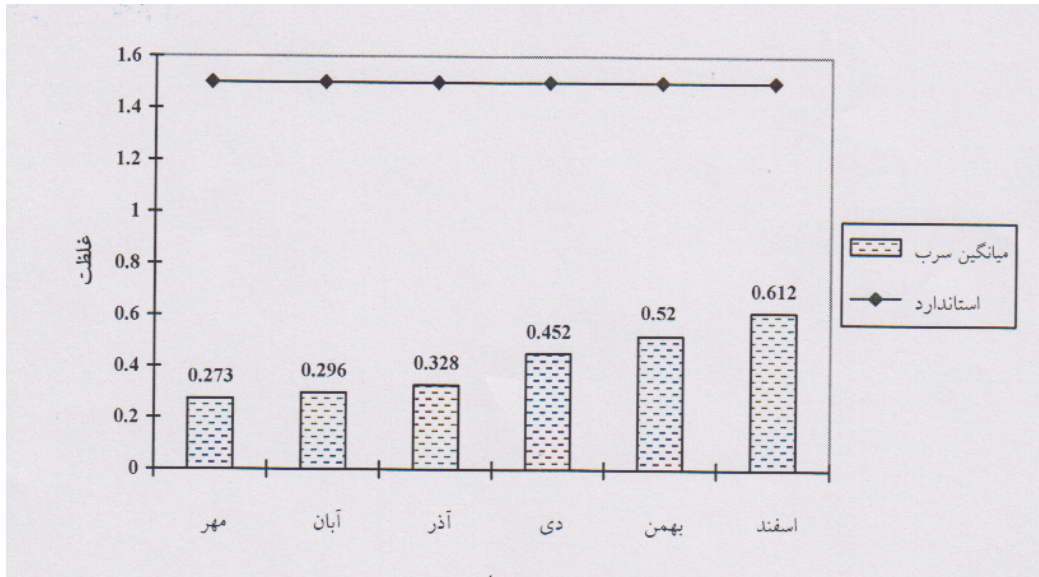
جدول ۳- شرایط نمونه برداری از نمونه های هوا زمستان ۱۳۸۵

ردیف	تاریخ	فلوی متوسط Lit	زمان h	میانگین دما (c)	میزان بارش (mm)	فشار هوا mbar
۱	۱۰/۲	۷۷/۵	۶	۱۹/۵	۰/۴	۱۰۱۷
۲	۱۰/۳	۷۷/۵	۶	۱۸	۹/۵	۱۰۲۰
۳	۱۰/۴	۷۷/۵	۶	۱۸	۱/۲	۱۰۰۳
۴	۱۰/۵	۷۷/۵	۷	۲۱	۰	۱۰۰۸
۵	۱۰/۶	۷۷/۵	۲۴	۲۰	۰	۱۰۰۵
۶	۱۰/۷	۷۷/۵	۶	۱۸	۰/۵	۱۰۰۰
۷	۱۰/۸	۷۷/۵	۶	۱۹	۰	۱۰۰۵
۸	۱۰/۳۰	۷۷/۵	۴۸	۳/۵	۱	۱۰۱۷
۹	۱۱/۱	۷۷/۵	۶	۹	۰/۴	۱۰۰۲
۱۰	۱۱/۲	۷۷/۵	۴	۱۰	۰/۳	۱۰۱۰
۱۱	۱۱/۳	۷۷/۵	۲۴	۹	۰	۱۰۰۲
۱۲	۱۱/۴	۷۷/۵	۵	۱۰/۵	۰/۵	۱۰۱۲
۱۳	۱۱/۵	۷۷/۵	۲۴	۹	۰/۵	۱۰۰۰
۱۴	۱۱/۶	۷۷/۵	۲۴	۹/۵	۰/۳	۱۰۰۰
۱۵	۱۲/۱۲	۷۷/۵	۶:۳۰	۸/۵	۰	۱۰۱۲
۱۶	۱۲/۱۳	۷۷/۵	۶:۲۰	۱۲	۰	۱۰۰۰
۱۷	۱۲/۱۴	۷۷/۵	۵:۱۵	۱۳	۰/۴	۱۰۱۳
۱۸	۱۲/۱۵	۷۷/۵	۶:۲۰	۷	۱	۱۰۱۵
۱۹	۱۲/۱۶	۷۷/۵	۲۲	۹	۰/۳	۱۰۱۷
۲۰	۱۲/۱۷	۷۷/۵	۱۱	۸/۵	۰	۱۰۲۰
۲۱	۱۲/۱۸	۷۷/۵	۷	۱۰	۰	۱۰۰۰

همان طور که در نمودار ۱ مشاهده می گردد، میزان غلظت سرب حتی در شرایط وارونگی از میزان استاندارد تعیین شده توسط مراجع بین المللی کم تر می باشد، بالاترین میانگین سرب در هوای محوطه استقرار راکتور تحقیقاتی سازمان انرژی

اتمی با اطمینان ۹۵٪ بین دو حد ۰/۴۵-۰/۷۷ میکروگرم بر متر مکعب هوا است در حالی که استاندارد تعیین شده از سوی

$$\text{EPA برابر } \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \text{ ۱/۵ است (15).}$$

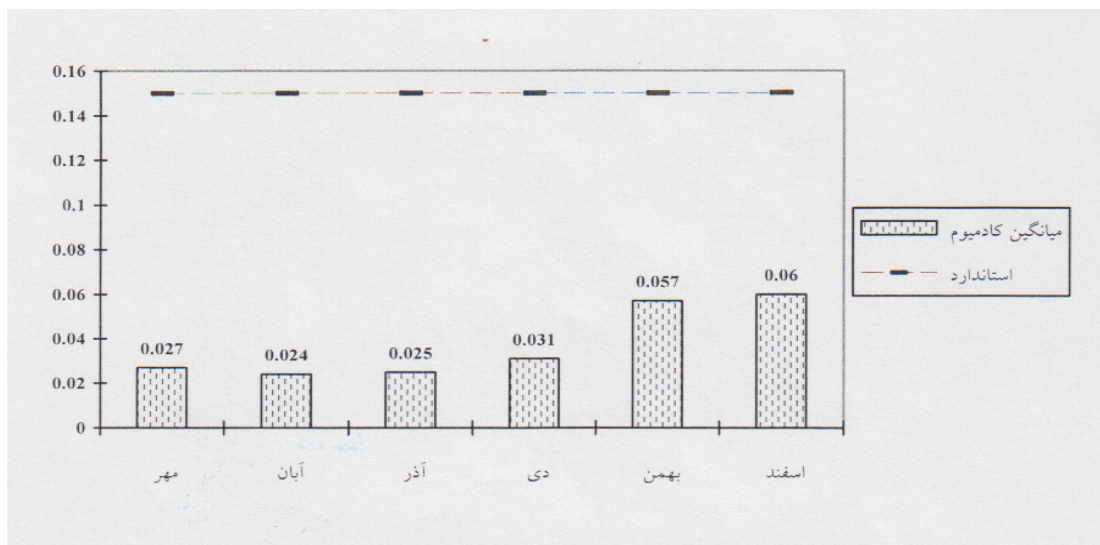


نمودار ۱- تغییرات سرب در هوای محوطه استقرار راکتور تحقیقاتی سازمان انرژی اتمی ایران  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

سال ۱۳۸۵

تعیین شده از سوی NIOSH برابر  $0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  تعیین گردیده است (16).

بالاترین میانگین کادمیوم در هوای محوطه استقرار راکتور تحقیقاتی با اطمینان ۹۵٪ بین دو حد ۰/۱-۰/۱۱ میکروگرم بر متر مکعب هوا می باشد که از میزان استاندارد تعیین شده توسط مراجع بین المللی کم تر است. استاندارد



نمودار ۲- تغییرات کادمیوم در هوای محوطه استقرار راکتور تحقیقاتی سازمان انرژی اتمی ایران  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  سال ۱۳۸۵

## نتیجه گیری

به علت محدودیت های زمانی، مالی و همچنین شرایط نامناسب جوی نمونه برداری در فصول پاییز و زمستان (۲۱ نمونه در پاییز و ۲۱ نمونه در زمستان) و در یک ایستگاه (پشت بام ساختمان راکتور تحقیقاتی سازمان انرژی اتمی) صورت پذیرفت.

نتایج نشان داد که در روزهایی که هوا در حالت پایدار بوده افزایش آلودگی هوا را به همراه داشته است و اختلاف افزایش و کاهش آلودگی در سایر روزها مربوط به باد و جریانات ناپایدار هوا است. لازم به ذکر است افزایش و کاهش فشار هوا در بیشتر اوقات با افزایش و کاهش میانگین آلودگی هوا همسو می باشد. بالاترین غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم) در اسفند ماه ۱۳۸۵ مشاهده گردید، به طور کلی این پژوهش نشان داد میزان انتشار فلزات سنگین طی پائیز و زمستان سال ۱۳۸۵ زیر حد مجاز بوده است و هیچ گونه آلودگی غیر عادی مشاهده نشده است.

## پیشنهادات

- ۱- با توجه به بررسی به عمل آمده، میزان آلودگی محیطی محدوده سازمان انرژی اتمی زیر حد استاندارد می باشد، پیشنهاد می گردد تمهیداتی در نظر گرفته تا این آلودگی به سمت صفر میل نماید.
- ۲- افزایش امکانات مالی جهت سنجش آلاینده ها در ایستگاه های متعدد و امکان نمونه برداری در تمام فصول سال.
- ۳- انجام مطالعات مشابه در زمینه اندازه گیری فلزات سنگین با توجه به اهمیت وجود این آلاینده در هوای مناطق مسکونی شهر تهران.

## منابع

۲. پوی، ه. س و همکاران (نوسندگان)، کی نژاد، سعید، ابراهیمی، محمد علی، ابراهیمی سیروس (مترجمان)، مهندسی محیط زیست، جلد دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند، (۱۳۸۷).
۳. ترکیان، ایوب، اسلامی، زهرا، (۱۳۸۰)، مهندسی کنترل آلودگی هوا، دانشگاه صنایع و معادن ایران.
۴. خراسانی، زهرا، (۱۳۶۸) اندازه گیری عناصر جزئی در هوای تهران با استفاده از تکنیک های جذب اتمی و تجزیه به روش اکتیو کردن با نوترون حرارتی، پایان نامه کارشناسی ارشد بهداشت محیط .
۵. طالبی، مرتضی، (۱۳۷۵) اندازه گیری سرب همراه با ذرات معلق هوا به وسیله روش های جذب اتمی و فلورسانس اشعه X، خلاصه مقالات یازدهمین کنگره شیمی و مهندسی شیمی ایران، تهران، انجمن شیمی و مهندسی شیمی ایران، دانشگاه تربیت معلم.
۶. طالبی، مرتضی، کلانتری اردشیر، بین بیژن، (۱۳۸) (اندازه گیری و مطالعه روند تغییرات جیوه در هوای شهر اصفهان. مجله دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، سال ۸، شماره ۴ ضمیمه.
۷. صدایی مهربان، کاظمی اربط، (۱۳۸۱) بررسی اندازه فلزات سنگین و (سرطان زا) در هوای شهر تبریز دانشگاه تبریز، مرکز پژوهش محیط زیست .
۸. عباسپور، مجید، (۱۳۸۳) مهندسی محیط زیست، جلد اول و دوم، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی.
9. A.A.Baklanov1 and A.G.Mahura, (2003) Assessment of possible airborne impact fro, nuclear risk sites,
10. Christian Ludwig, Albert J. Schuler, Jorg Wochele, and Samuel Stucki (2002) Measuring the Evaporation Kinetics of Heavy Metals: a New Method.

۱. ادریسی، محمد، معصومی، علی، ۱۳۷۲، مبانی و روش های شیمی تجزیه، دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال، چاپ اول.



- Annual Report to Department of Energy,.
14. Review of data on heavy metals in ambient air in Australis(2002), Enviroment Australis.
  15. [www.EPA.org](http://www.EPA.org)
  16. [www.cdc.gov/NIOSH/](http://www.cdc.gov/NIOSH/)
  11. D.Malcol,(1973) Heavy Metals as Air Pollutants: Lead, Zinc and Cadmium. VDI Commission Report.
  12. L.Rybach, B.Bucher and G.Schwarz, (2001)Airborne surveys of Swiss nuclear Facility sites.
  13. J. R. McDoald; A.P.Baronavski; L.R. Pasternack-Rafferty; V.M.Donnelly, (2005)Detection and Monitoring of Airborne uclear Waste Materials,